

製鉄用高品質焼結鉍の製造に関する研究

著者	山岡 洋次郎
号	655
発行年	1982
URL	http://hdl.handle.net/10097/11604

氏 名 やま おか よう し ろう
山 岡 洋 次 郎

授 与 学 位 工 学 博 士

学位授与年月日 昭和 58 年 3 月 9 日

学位授与の根拠法規 学位規則第 5 条第 2 項

最 終 学 歴 昭和 44 年 3 月

北海道大学大学院工学研究科冶金工学専攻
修士課程修了

学 位 論 文 題 目 製鉄用高品質焼結鉱の製造に関する研究

論 文 審 査 委 員 東北大学教授 大森 康男 東北大学教授 大谷 正康
東北大学教授 萬谷 志郎 東北大学教授 徳田 昌則

論 文 内 容 要 旨

高炉装入物として多量に使用され、したがって、高炉操業成績を大きく支配する焼結鉱の品質については、従来より数多くの研究がなされ、また、工場においても厳しい管理がなされてきた。このようにして、焼結鉱の品質改善が相当の水準まで達成され、かつ、高炉炉内解体調査などにより、高炉内での装入物の挙動が明らかになりつつある現在、焼結鉱品質の高炉操業成績に及ぼす影響の度合をより明確にし、その度合に応じて重みづけをした調和的な管理を行うことこそが、最も重要であると考えられる。

本論文は、このような観点から、焼結鉱のあるべき性状を明確にし、かつ、その製造技術を確立することを目的として行った一連の体系的な実験（向流還元実験、荷重還元実験、ブリケット焼成実験、焼結鍋実験）と解析の結果、および研究成果の実操業への適用結果について記述したものであり、8章よりなる。

第1章は「緒論」であり、本研究の目的と意義について述べている。

第2章では、「高炉操業成績に及ぼす焼結鉱品質の影響」について、文献および高炉操業データの調査、解析を行い、高炉装入物として焼結鉱に要求される品質の検討を行っている。その結果、今後の品質改善の方向としては、冷間強度および耐還元粉化性を必要最少限（およそ、タンブラー

強度 $TI \geq 60\%$ 、還元粉化指数 $RDI \leq 40\%$) に維持した上で、被還元性および軟化熔融性状をさらに向上させる方法が、燃料比および溶銑中 Si 濃度の低減、炉況の安定化などの高炉操業成績の改善に、最も効果であることを指摘した。

第3章では、「被還元性および還元粉化性の測定と解析」の結果について述べている。測定と解析は、高炉シャフト部の条件に近似させた昇温向流還元実験により行い、等温簡便法である従来法（被還元性は JIS 法、還元粉化性は製銑部会法）との比較検討も行った。その結果、1) 被還元性の差による還元率の差は、熱保存帯（約

1000℃）が長い場合、そこで一旦消滅するが、その後の昇温過程で再び顕著となる。

2) 還元粉化率はヘマタイトからマグネタイトへの還元勾配に比例する（図1）。

3) 高炉内での焼結鉱強度は、1000℃以下では還元粉化性によりほぼ一義的に決まり、1000～1200℃では金属鉄の生成量により決まる。4) 被還元性、還元粉化性のいずれについても、向流還元法と従来法による測定結果は良く対応することが判明した。

また、焼結鉱と酸性ペレットの混合層の還元特性について、向流還元実験および多界面未反応核モデルを用いた数学的モデルによる検討を行い、混合層の平均還元率は、酸性ペレットの配合率に対して、必ずしも直線関係にならないことを見出した。

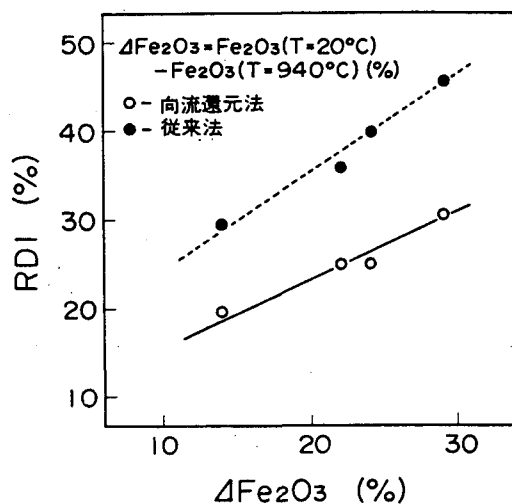


図1 還元によるヘマタイト減少量 (ΔFe_2O_3) と還元粉化率 (RDI) との関係

第4章では、「軟化熔融性状の測定と解析」の結果について述べている。最初に、軟化熔融性状測定法として適正な荷重還元実験条件を設定するため、高炉内条件に近似した一定の温度、ガス組成条件下で、荷重、ガス流量、試料粒度、試料層高の水準を変えた荷重還元実験（例：図2）を行うとともに、固定層還元の数学的モデルによる理論的検討を行い、これら諸条件の適正化をはかった。

ついで、本荷重還元実験に基づいて、焼結鉱と酸性および塩基性ペレットの軟化熔融過程の解析と比較を行い、さらに、焼結鉱の軟化熔融性状に及ぼす各種成分 (MgO , SiO_2 , TiO_2 , FeO , CaO/SiO_2) の影響について検討した。

その結果、以下の結論を得た。1) 焼結鉱、ペレットの軟化熔融性状を支配している基本因子は、還元前のスラグ組成とその量および1000～1200℃での高温被還元性である。すなわち、それらの軟化熔融性状は、スラグーウスタイト間およびスラグ同志の反応に伴う融液の生成量と生成温度に

よって、統一的に説明できる。2) 焼結鉱の軟化熔融性状を改善するためには、すなわち、軟化開始温度 T_s ($:T_{100}, T_{200}$) および T° における到達還元率 R_T ($:R_{900} \sim R_{1200}$) を高く、軟化から溶落ちまでの温度幅 ΔT_{SM} ($: \Delta T_{100}, \Delta T_{200}$) およびその間の通気抵抗指数の積分値 ΣK ($: \Sigma K_1, \Sigma K_2$) と温度平均値 \bar{K} ($: \bar{K}_1, \bar{K}_2$) を小さくするためには、(1) SiO_2 , FeO , TiO_2 濃度の低減、(2) CaO/SiO_2 , MgO 濃度および FeO 濃度の適正組合せが有効である。結果の一例として、 SiO_2 濃度による焼結鉱の軟化熔融性状の変化を、図3に示す。

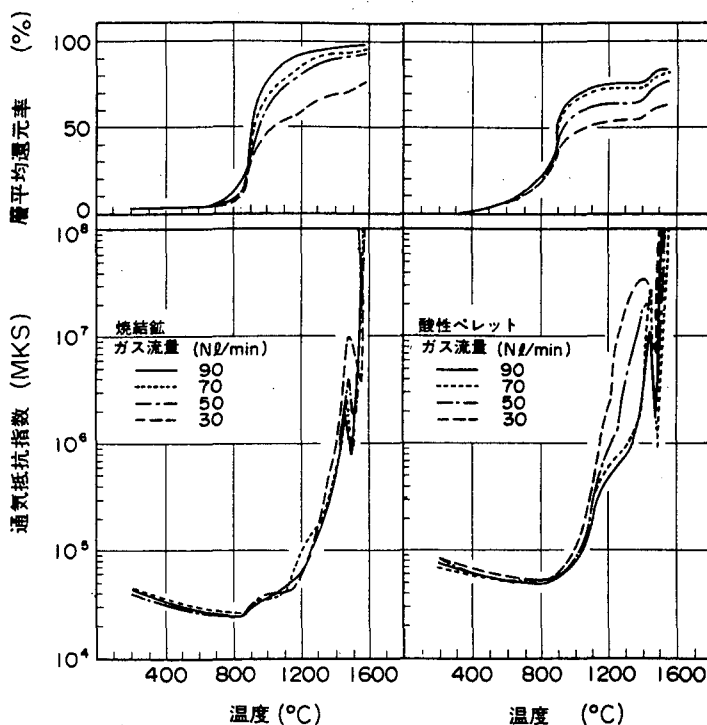


図2 荷重還元実験結果に及ぼすガス流量の影響

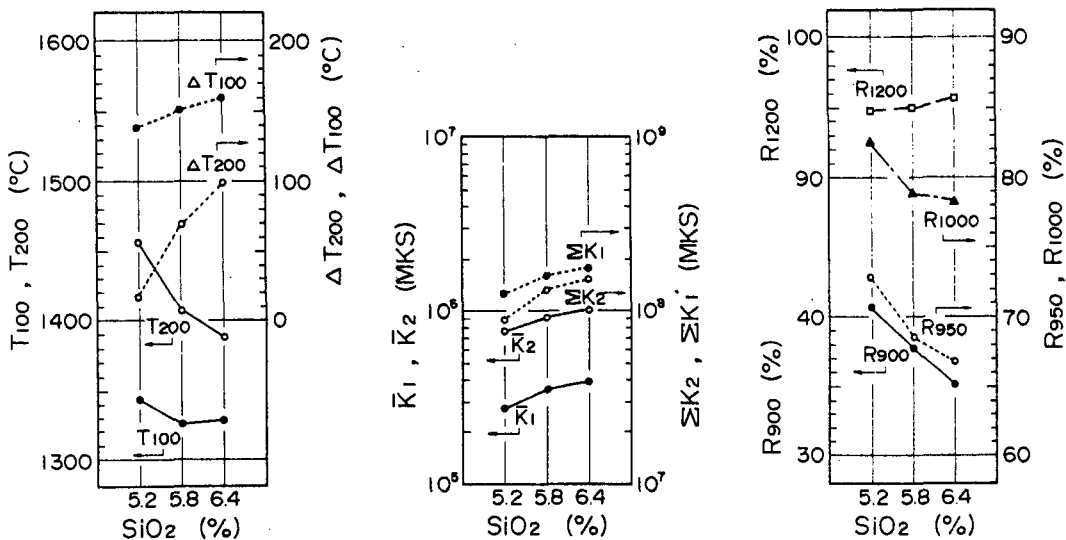


図3 焼結鉱の軟化熔融性状に及ぼす SiO_2 濃度の影響 ($CaO/SiO_2 \approx 1.6$)

第5章では、「焼結反応過程の解析」の結果について述べている。解析は主として空気中におけるブリケット焼成実験に基づいて行い、以下の知見を得た。

1) $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--CaO--SiO}_2$ 系 ($\text{SiO}_2 = 5 \sim 6\%$, $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1.6 \sim 1.9$) の焼成においては、図4に示すように、まず固相反応により 1000°C 付近から2成分系カルシウムフェライト（以後、CFと称す）が形成され始め、これが 1000°C 付近で溶融した後、 SiO_2 と反応し、その界面にオリビン系融液と2次ヘマタイト（ヘマタイトの熱解離温度以上ではマグネタイト）が形成される。

2) $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--CaO--SiO}_2$ 系における2成分系CFの生成反応は2段階になっており、最初に $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ が形成され、ついで、これが $\text{CaO} \cdot 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ に変化する。

3) $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--CaO--SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3$ 系 ($\text{SiO}_2 = 6.1\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 3\%$, $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1.6$) の焼結反応過程は、基本的には $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--CaO--SiO}_2$ 系と同一であり、2成分系CF融液と SiO_2 の反応により生じたオリビン系融液に Al_2O_3 が溶解するものと考えられる。ただし、この系の場合、最終的に形成されるCFは、 SiO_2 , Al_2O_3 を含む4成分系である。

4) これらの結果に基づいて、高温急冷型の焼成は還元粉化の改善に、低温徐冷型の焼成は被還元性の改善に有効であることを推論し、その妥当性を焼結鍋実験により立証した。

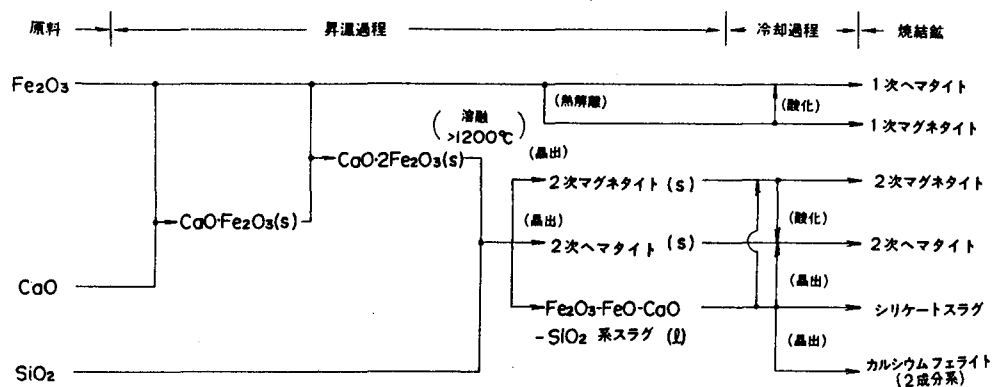


図4 $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--CaO--SiO}_2$ 系の焼結反応過程

($\text{SiO}_2 = 5 \sim 6\%$, $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1.3 \sim 1.9$, 大気中)
(S): 固相, (I): 液相

第6章では、「高品質焼結鈹の製造条件の検討」を行っている。第5章での知見、および焼結プロセスの数学的モデルによる検討結果（例：図5）を勘案した各種焼結鍋実験を行い、以下の知見を得た。

1) 擬似粒子は、核粒子、熱崩壊する付着粒子（着粒率A）および熱崩壊しない付着粒子（着粒率B）に3分割することができ（図6）、焼結中の通気性を支配しているのは、擬似粒子から熱崩壊する付着粒子を除いたときの粒度（完全乾燥粒度）である。この粒度は、造粒時間の適正化、生

石灰の添加、および微粉鉍石（ $-125\mu\text{m}$ ）の低減によって増大させることができる。2) 左記の方法による完全乾燥粒度の増大化とこれに見合う高層厚化、およびコークスの整粒（ $1.5\sim 2\text{mm}$ ）などにより、焼結鉍の生産率および強度を維持した上で、その被還元性および耐還元粉化性を改善することができる。

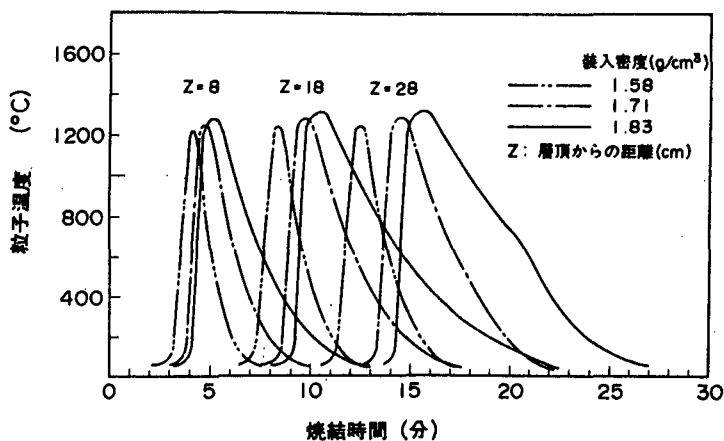


図5 焼結層内温度分布に及ぼす装入密度の影響（計算値）

第7章では、「研究成果の実操業への適用」として、以上の各種研究成果のうち、焼結原料への生石灰の添加、焼結鉍の高 MgO 化および低 SiO_2 低 FeO 化の3項目について、実操業に適用した結果を述べている。実操業で得られた結果は、いずれも該当の章で述べた実験、解析の結果と極めて良く一致しており、研究成果の妥当性が証明された。

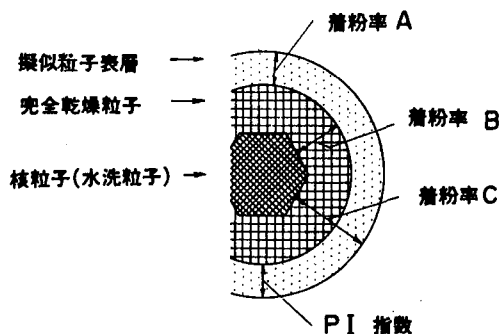


図6 擬似粒子の状態とこれを示す指数

第8章は「結論」であり、高品質焼結鉍の製造技術を確立するために行った各章での研究の成果を要約した。

審 査 結 果 の 要 旨

現在、鉄源としての高炉装入物の約75%が自溶性焼結鉱であり、その品質の高炉操業成績に及ぼす影響は大きい。本論文は、高炉内における焼結鉱の反応過程を良く近似する反応装置を用いて焼結鉱品質を定量的に評価し、その知見に基づき高品質焼結鉱の製造に重要な諸要因を基礎的研究により解明したのち、その製造技術に応用して効果を確認し、さらにその使用による高炉操業成績の向上を実証するまでの研究成果をまとめたもので、全編8章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、最近の高炉操業データの解析を行い、焼結鉱の品質改善方向として高温被還元性および軟化熔融性状の向上が重要であることを指摘し、それらの向上に必要な焼結鉱製造技術の要因と対策を論じている。

第3章は昇温向流還元装置を用いて500℃付近において起こる還元粉化現象と900℃より1100℃の被還元性を定量的に評価するための理論および実験的検討結果について述べている。向流移動層還元の数学的モデルを用いて塊成鉱の被還元性の優劣が高炉熱保存帯、すなわち1000℃以上の温度、で顕著となることを見出し、焼結鉱とペレットの混合層の還元進行の推移は各単味層の還元特性により推算できることを実証している。これは実用上有益な知見である。

第4章は軟化熔融性状の定量化について述べている。その測定方法および測定条件の検討には多くの創意がみられ、詳細な検討によって提案された測定方法は日本学術振興会第54(製鉄)委員会の推奨方法として評価されている。焼結鉱の軟化熔融性状は、軟化開始温度、軟化開始から熔融滴下までの温度幅、その間の通気抵抗指数の積分値などの指標を用いて評価できることを明らかにしている。これは卓見である。

第5、6章は焼結鉱の低FeO化および低SiO₂化を目標とする高品質焼結鉱の製造条件の検討結果を述べている。鉄源予測からその基本成分となるFe₂O₃-CaO-SiO₂-Al₂O₃系の焼結反応経路を鉱物工学的手法により解明したのち、焼結プロセスの数学的モデルによる要因解析に基づいて焼結鍋実験を行い、生石灰添加による擬似粒子の粗大化とその強度向上、その結果として可能となる焼結層の高層厚化、およびコークスの整粒強化などにより目標とする高品質焼結鉱が得られることを見出ししている。

第7章は第2～6章の成果を焼結および高炉の試験操業に適用した結果を述べている。低温徐冷型を指向し、高MgO配合を行った焼結操業によって焼結鉱の低SiO₂化と低FeO化の同時達成による高温被還元性の向上と優れた軟化熔融性状をもつ焼結鉱が製造され、この焼結鉱の使用により鉄鉄屯当り396kgの極低燃料比の高炉成績が達成された。

第8章は結論である。

以上要するに、本論文は高炉内の有るべき焼結鉱性状を定量化して高品質焼結鉱製造の重要因子を把握した上で高炉の極低燃料比達成に必要な低SiO₂低FeO焼結鉱製造技術を確立したもので、金属工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。